УДК 621.397.2:621.315.2

ПОДАВЛЕНИЕ ФОНОВЫХ ПОМЕХ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛОВ

В.И. Туев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: tvi@tv2.tomsk.ru

Рассмотрены источники фоновых помех в линиях передачи видеосигналов, показано влияние синфазного сопротивления на величину максимального подавления фоновой помехи в дифференциальных видеокорректорах, даны практические рекомендации по расчету дифференциальных входных каскадов видеокорректоров на операционных усилителях.

Передача видеосигналов телевидения, занимающих полосу частот от 50 Гц до 6 МГц, между комплектами оборудования аппаратно-студийного блока, монтажными и эфирными аппаратными внутри здания, между разнесенными территориально зданиями вещательных компаний и передающих центров осуществляется по волоконно-оптическим и коаксиальным радиочастотным линиям связи. Волоконно-оптические линии связи, обладающие большой пропускной способностью, применяются для передачи групповых сигналов, содержащих десятки видеосигналов, сигналов звукового сопровождения и дополнительной информации [1]. Передача одиночных видеосигналов по экономическим соображениям осуществляется по коаксиальным радиочастотным линиям связи. В соответствии с правилами устройства электроустановок [2] корпуса аппаратуры, электроустановки и нулевой проводник питающей электрической сети должны быть заземлены (рис. 1).

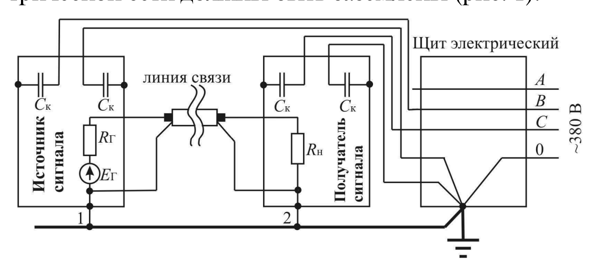


Рис. 1. *Конфигурация цепей заземления*

По контуру заземления протекают токи промышленной частоты и ее гармоник, обусловленные конструктивными и паразитными емкостями $C_к$ блоков питания аппаратуры связи. Малое, но конечное сопротивление устройства заземления приводит к наличию паразитной разности потенциалов вдоль заземляющего проводника, достигающей десятков – сотен мВ, а при большом территориальном разносе и ед. В [3]. Коаксиальная линия связи, будучи включенной между источником и получателем видеосигнала, своей оплеткой шунтирует точки 1 и 2 контура заземления. Протекающий по ней ток создает помеху частотой 50...200 Гц, попадающую в спектр телевизионного видеосигнала и вызывающую искажение изображения в виде медленно перемещающихся горизонтальных темных и светлых полос на экране телевизионного приемника [3]. Вследствие высокой различимости такая помеха жестко регламентирована допустимой величиной отношения сигнала яркости к фоновой помехе [4].

Для удовлетворения указанных в [4] требований по уровню фоновой помехи последовательно с линией включают активные дифференциальные корректоры [5], позволяющие в отличие от пассивных устройств [3] дополнительно восстанавливать уровень видеосигнала на выходе линии связи и компенсировать частотнозависимые потери. Эквивалентная схема линии связи, подключенной к входу дифференциального корректора, приведена на рис. 2.

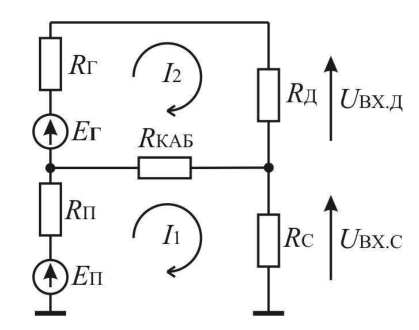


Рис. 2. *Эквивалентная схема линии связи, подключенной ко входу дифференциального корректора: $R_Д$ и $R_С$ – соответственно дифференциальное и синфазное входные сопротивления дифференциального корректора, $R_{КАБ}$ – сопротивление оплетки коаксиального кабеля, $R_Г$ – выходное сопротивление источника видеосигнала, $R_П$ – эквивалентное сопротивление источника помехи*

Определим $U_{ВХ.Д}$ – дифференциальное и $U_{ВХ.С}$ – синфазное входные напряжения дифференциального корректора. Для этого в соответствии с методом контурных токов [6] запишем систему линейных уравнений

$$\begin{aligned} I_1(R_П + R_С + R_{КАБ}) - I_2 R_{КАБ} = E_П, \\ -I_1 R_{КАБ} + I_2(R_Г + R_Д + R_{КАБ}) = E_Г. \end{aligned} \quad (1)$$

Используя решения системы ур. (1) относительно переменных I_1 и I_2, получим

$$U_{ВХ.Д} = I_2 R_Д = \frac{R_Д}{R_Г + R_Д + R_{КАБ}(1 - \frac{R_{КАБ}}{R_П + R_С + R_{КАБ}})} \times$$
$$\times (E_Г + \frac{R_{КАБ}}{R_П + R_С + R_{КАБ}} E_П),$$
$$U_{ВХ.С} = I_1 R_С = \frac{R_С}{R_П + R_С + R_{КАБ}(1 - \frac{R_{КАБ}}{R_Г + R_Д + R_{КАБ}})} \times \quad (2)$$
$$\times (E_П + \frac{R_{КАБ}}{R_Г + R_Д + R_{КАБ}} E_Г).$$

Входное дифференциальное напряжение $U_{ВХ.Д}$ содержит полезную составляющую, обусловленную действием источника сигнала $E_Г$, и помеху, вызванную протеканием токов промышленной частоты и ее гармоник через сопротивление оплетки кабеля $R_{КАБ}$. Из анализа (2) следует, что уменьшить помеху можно, увеличивая синфазное входное сопротивление R_C. Действительно, полагая в (2) $R_C=\infty$, получим

$$U_{ВХ.Д} = \frac{R_Д}{R_Г + R_Д + R_{КАБ}} E_Г ,$$

$$U_{ВХ.С} = E_П + \frac{R_{КАБ}}{R_Г + R_Д + R_{КАБ}} E_Г .$$

Таким образом, увеличение входного синфазного сопротивления дифференциального корректора является основным условием достижения максимального подавления фоновой помехи, поскольку препятствует протеканию тока промышленной частоты и ее гармоник по оплетке линии связи и минимизирует прохождение помехи на дифференциальный вход устройства. В этом случае коэффициент подавления помехи максимален и равен коэффициенту ослабления синфазного сигнала дифференциального корректора.

Схемотехника современных кабельных корректоров основана на применении в качестве активных элементов специализированных операционных усилителей (ОУ) [3, 5].

Типовая схема корректора на ОУ, обеспечивающая подавление синфазной помехи, приведена на рис. 3, *а* [7].

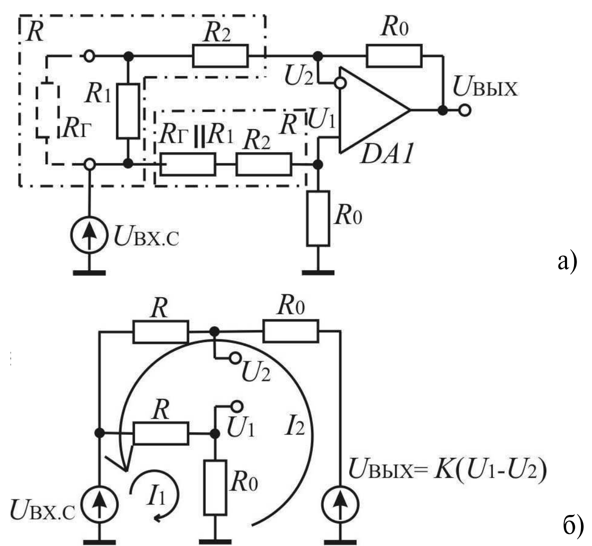


Рис. 3. *Дифференциальный корректор на ОУ: R_1 – согласующий резистор, сопротивление которого равно волновому сопротивлению линии связи, $R_Г||R_1$ – параллельное соединение $R_Г$ и R_1*

Эквивалентная схема корректора для области низких частот с использованием упрощенной модели ОУ [8] приведена на рис. 3, *б*, где R обозначает эквивалентное сопротивление двух одинаковых групп элементов, обведенных штрих-пунктирной линией на рис. 3, *а*, и определяется по формуле

$$R = R_2 + \frac{R_Г R_1}{R_Г + R_1}.$$

Уравнения для контурных токов имеют вид

$$I_1(R + R_0) = U_{ВХ.С},$$
$$I_2(R + R_0) = K(U_1 - U_2) - U_{ВХ.С}, \quad (3)$$

где K – коэффициент усиления ОУ.

Используя решения системы ур. (3) относительно переменных I_1 и I_2 с учетом соотношений

$$U_1 = \frac{R_0}{R + R_0} U_{ВХ.С},$$
$$U_2 = U_{ВХ.С} + RI_2,$$

получим

$$R_{ВХ.С} = \frac{U_{ВХ.С}}{I_1 - I_2} = \frac{R + R_0}{2}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что для увеличения входного синфазного сопротивления дифференциального корректора на ОУ необходимо пропорционально увеличивать значения сопротивлений R_0 и R. С учетом выражения (2) в схеме, приведенной на рис. 3, *а*, увеличению подлежат сопротивления резисторов R_0 и R_2. Однако в реальных условиях увеличение этих сопротивлений приводит к ухудшению частотных свойств корректора в области верхних частот и накладывает ограничения на предельно достижимые значения входного синфазного сопротивления.

Эквивалентная схема корректора для области верхних частот приведена на рис. 4.

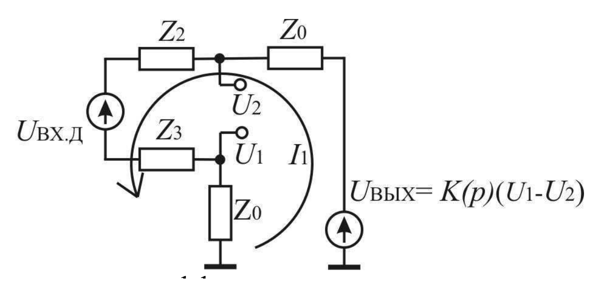


Рис. 4. *Эквивалентная схема дифференциального корректора для области верхних частот*

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + pR_2C}, Z_3 = \frac{R_Г R_1}{R_Г + R_1} + Z_2,$$

$$Z_0 = \frac{R_0}{1 + pR_0C}, K(p) = \frac{K}{1 + pT_{ОУ}}, p = 2\pi jf,$$

где C – емкость монтажа, $T_{ОУ}$ – постоянная времени ОУ.

В соответствии с методом контурных токов [5] запишем линейное уравнение

$$I_1(Z_2 + Z_3 + 2Z_0) = U_{ВЫХ} - U_{ВХ.Д}. \quad (5)$$

Решая ур. (5) относительно переменной I_1 с учетом соотношений

$$U_1 = I_1 Z_0,$$
$$U_2 = U_{ВХ.Д} + I_1(Z_2 + Z_3 + Z_0),$$

получим выражение для передаточной функции корректора для дифференциального входного сигнала

$$W(p) = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ.Д}} = -\frac{K(p)}{1 + \frac{(Z_2 + Z_3)(1 + K(p))}{2Z_0}}. \qquad (6)$$

Зависимость модуля комплексной передаточной функции (6) от частоты для корректора на ОУ типа AD818 [9] для C=0,5 пФ, K=3500, $R_Г$=R_1=75 Ом, $T_{ОУ}$ =1,1·10^{-5} с и трех пар численных значений R_2 и R_0 приведена на рис. 5.

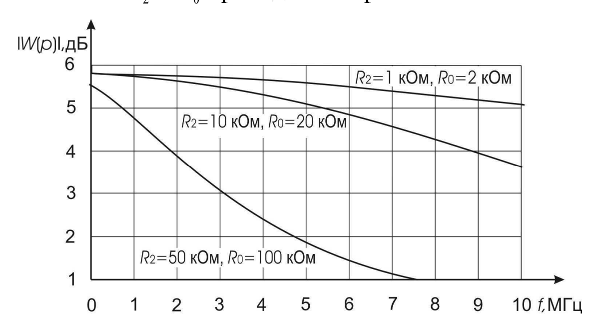


Рис. 5. *Частотные характеристики дифференциального корректорая*

Предельное минимальное значение полосы рабочих частот, удовлетворяющее требованиям [4], соответствует значениям R_2=10 кОм и R_0=20 кОм. При этом в соответствии с (4) максимальное входное синфазное сопротивление составляет 15 кОм.

При больших значениях напряжения помехи входное синфазное сопротивление корректора в десятки кОм может оказаться недостаточным для уменьшения помехи до уровня, при котором отношение сигнала яркости к фоновой помехе удовлетворяет требованиям ГОСТ [4]. В этих обстоятельствах следует использовать схему дифференциального корректора на двух ОУ, приведенную на рис. 6 [9].

Входное синфазное сопротивление дифференциального корректора на двух ОУ равно [10]

$$R_{ВХ.С} \approx \frac{KR_{ВХ.ДИФ}}{2}, \qquad (7)$$

где $R_{ВХ.ДИФ}$ – дифференциальное входное сопротивление ОУ.

Значение входного синфазного сопротивления в соответствии с (7) не зависит от параметров пассивных элементов схемы и определяется свойствами самого ОУ. При этом свойства корректора в области верхних частот зависят от сопротивлений R_0 и R_2 аналогично (6).

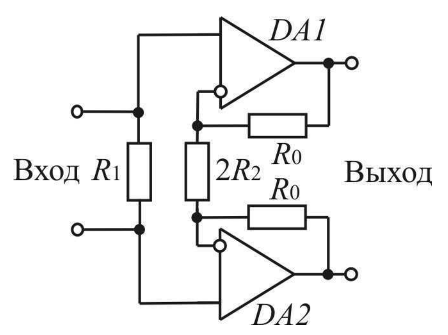


Рис. 6. *Дифференциальный корректор на двух ОУ*

Максимальное значение коэффициента подавления помехи в дифференциальных корректорах на ОУ равно коэффициенту ослабления синфазного сигнала ОУ. Экспериментально измеренные значения коэффициента подавления помехи с частотой 50 Гц в дифференциальных корректорах на ОУ типа AD818 составили 65 дБ для схемы, приведенной на рис. 3, *а*, и 73 дБ для схемы, приведенной на рис. 6. Отклонение экспериментальных значений коэффициента подавления помехи от максимально возможного значения 100 дБ [9] обусловлено разбросом параметров элементов в схеме с одним ОУ и неидентичностью активных устройств в схеме с двумя ОУ.

Таким образом, для получения максимального подавления помехи в дифференциальных корректорах необходимо увеличивать их входное синфазное сопротивление, что минимизирует проникновение помехи на дифференциальный вход устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л. и др. Волоконно-оптические системы передачи / Под ред. В.Н. Гомзина. – М.: Радио и связь, 1992. – 416 с.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. – 608 с.
3. Стрижевский Н.З. Коаксиальные видеолинии. – М.: Радио и связь, 1988. – 200 с.
4. ГОСТ 19871-83 Каналы изображения аппаратно-студийного комплекса и передвижной телевизионной станции вещательного телевидения. Основные параметры и методы измерений.
5. Куземко В., Шебзухов К. Кабельные корректоры // "625". – 2001. – № 9. – С. 8–14.
6. Сигорский В.П. Матрицы и графы в электронике. – М.: Энергия, 1968. – 175 с.
7. Волосников С.И., Юргенсон Д.Р. Подавление синфазных помех в схемах с операционными усилителями // Радиотехника. – 1988. – № 7. – С. 27–29.
8. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 510 с.
9. http://www.analog.com/productSelection/pdf/AD818_b.pdf
10. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. Полупроводниковые усилительные устройства. – М.: Радио и связь, 1998. – 272 с.